

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального исследовательского  
центра «Информатика и управление»  
Российской академии наук  
(ФИЦ ИУ РАН),  
академик \_\_\_\_\_



Соколов

«25» 04 \_\_\_\_\_ 2018 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН) на диссертацию Батузова Кирилла Андреевича «Исследование и разработка методов оптимизации программ для систем динамической двоичной трансляции», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

В диссертационной работе Батузова К.А. проведена разработка методов оптимизации кода программ во время динамической двоичной трансляции и их реализация в системе динамической двоичной трансляции с открытым исходным кодом QEMU. Однопроходный алгоритм анализа потока данных может быть использован для построения других машинно-независимых оптимизаций для двоичной трансляции, которые сводятся к задаче анализа потока данных. Алгоритмы распределения регистров могут использоваться в исследованиях по расширению регионов, подвергаемых динамической двоичной трансляции. Предложенный метод выражения векторных инструкций одной процессорной архитектуры через векторные инструкции другой процессорной архитектуры является общим и может быть применен к любой паре процессорных архитектур.

**Актуальность работы.** Диссертационная работа Батузова К.А. относится к области анализа и оптимизации программ. Методы проведения

оптимизаций программ хорошо изучены в контексте компиляторов, однако применение тех же методов во время динамической двоичной трансляции не всегда возможно, так как, во-первых, может отсутствовать высокоуровневая информация о программе (гнезда циклов, типы переменных, границы функций) и, во-вторых, оптимизации в этом случае проводятся во время работы программы, и временные затраты на них также необходимо учитывать. Динамическая двоичная трансляция является основным методом построения эффективных программных эмуляторов. Эмуляторы позволяют выполнять как прикладное, так и системное программное обеспечение, написанное для процессорной архитектуры, не обязательно совместимой с имеющейся в аппаратуре. Качество проведения оптимизаций при динамической двоичной трансляции напрямую влияет на эффективность работы выполняемого в эмуляторе программного обеспечения (ПО) и, как следствие, является важной характеристикой эмулятора. Конкретной актуальной задачей исследования является разработка методов оптимизации программ для применения во время динамической двоичной трансляции. Разработанные методы учитывают особенности динамической двоичной трансляции: выполнение оптимизаций во время работы программы, ациклический граф потока управления и отсутствие высокоуровневой информации о программе.

**Общая характеристика работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации 105 страниц, включая 3 рисунка. Библиография включает 60 наименований.

Во введении обосновываются актуальность и практическая значимость диссертационной работы, формулируются ее цели и задачи.

В первой главе приведен обзор существующих методов оптимизации программ и распределения регистров. Методы машинно-независимых оптимизаций программ строятся как решения задачи анализа потока данных. Существует два класса алгоритмов глобального распределения регистров: алгоритмы раскраски графа зависимостей и алгоритмы линейного

сканирования. По результатам обзора делается вывод о том, что существующие методы оптимизации программ и алгоритмы распределения регистров недостаточно учитывают особенности кода, получаемого при динамической двоичной трансляции, и в результате решают слишком общую задачу, что делает их недостаточно эффективными.

Во второй главе описан метод решения задачи анализа потока данных для ациклических графов потока управления. Доказано, что при просмотре базовых блоков в порядке топологической сортировки (для прямой задачи анализа потока данных) и в порядке, обратном топологическому (для обратной задачи анализа потока данных), решение будет найдено за один проход по коду. С использованием данного метода строятся оптимальные решения по продвижению копий и сворачиванию константных выражений.

В третьей главе описывается алгоритм локального распределения регистров. Данный алгоритм обнаруживает живые переменные, значение которых не может быть сохранено на регистрах из-за ограничений, связанных с вызовами функций и границами базовых блоков, и сохраняет такие переменные в память, освобождая соответствующие регистры.

В четвертой главе описывается комбинированный (глобальный и локальный) алгоритм распределения регистров. Предложенный алгоритм состоит из двух фаз. На первой фазе выбираются переменные, которые должны пересечь границы базовых блоков на регистрах. На второй фазе производится локальное распределение регистров внутри базовых блоков так, чтобы удовлетворить ограничениям, выбранным на первой фазе. Данный алгоритм не требует построения дополнительного промежуточного представления, а результаты работы первой фазы могут быть записаны как атрибуты графа потока управления. Доказываются теоремы о корректности данного алгоритма.

В пятой главе описывается метод трансляции векторных инструкций одной процессорной архитектуры в векторные инструкции другой процессорной архитектуры. Предложенный метод обеспечивает корректную

работу полученного кода в случаях, когда часть векторных инструкций эмулируется через скалярные операции, и в случаях, когда существует полное или частичное перекрытие векторных регистров.

В заключении приводятся выводы, формулируются основные результаты работы и направления дальнейших исследований.

**Научная новизна** работы заключается в разработке следующих оригинальных методов.

1. Эффективный метод решения задачи анализа потока данных для ациклических графов.
2. Однопроходные методы распределения регистров.
3. Метод выражения векторных инструкций одной процессорной архитектуры через векторные инструкции другой процессорной архитектуры.

Научной новизной обладают также теоремы, обосновывающие корректность и эффективность разработанных методов.

**Практическая ценность.** Все предложенные в работе методы были реализованы в эмуляторе QEMU. Экспериментальное применение показало заметное увеличение производительности виртуальной машины.

**Обоснованность и достоверность** основных научных положений, выводов и результатов, представленных в диссертации, базируется на методах анализа и оптимизации программ; теоремах, обосновывающих корректность и эффективность разработанных методов; результатов экспериментального применения методов на различных тестах и реальных приложениях.

Основное содержание диссертационной работы Батузова К.А. опубликовано в 4 печатных работах в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Материалы диссертации докладывались на 5 конференциях и научных семинарах. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

Автореферат правильно отражает основные результаты, полученные в диссертационной работе. Результаты диссертации могут быть внедрены в следующих организациях:

– Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации» Российской академии наук;

– ПАО «Институт электронных управляющих машин им. И.С. Брука»;

– Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук».

**Замечания по работе.** По работе Батузова К.А. имеются отдельные замечания.

1) В работе описываются несколько оптимизационных решений и приводятся экспериментальные результаты по каждому из них. Было бы интересно видеть совокупное влияние всех оптимизаций на производительность эмулятора, однако такой информации в работе не приводится.

2) В разделе 5.2.2 «Анализ указателей и перекрытие переменных» неявно используется метод решения задачи анализа потока данных для ациклических графов, описанный во второй главе. Однако ссылка на соответствующую главу отсутствует.

**Заключение.** Приведенные замечания не снижают значимость теоретических и практических результатов, полученных Батузовым К.А. и положительную оценку диссертационной работы. Диссертация в соответствии с требованиями «Постановления Правительства Российской Федерации о порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 г. №842 является законченной научно-квалификационной работой, в которой предложены методы и средства решения актуальной научной задачи — оптимизации программ во время динамической двоичной трансляции, и соответствует пункту 1 паспорта специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей». Автор диссертации – Батузов Кирилл Андреевич заслуживает присуждения

ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Отзыв обсужден и утвержден на заседании секции Ученого совета ИПИ РАН Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, протокол № 2 от 25 апреля 2018 г.

Главный научный сотрудник ФИЦ ИУ РАН  
Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор

И.Н. Синицин

» 04 \_\_\_\_\_ 2018 г.